



TITLE:

# DEVELOPMENT OF FUNDAMENTAL THEORY ON UNSTEADY OPEN CHANNEL FLOWS( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

WAI, THWE AUNG

---

CITATION:

WAI, THWE AUNG. DEVELOPMENT OF FUNDAMENTAL THEORY ON  
UNSTEADY OPEN CHANNEL FLOWS. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22055>

RIGHT:

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	WAI THWE AUNG
論文題目	DEVELOPMENT OF FUNDAMENTAL THEORY ON UNSTEADY OPEN CHANNEL FLOWS (開水路非定常流の基礎理論の発展に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、開水路非定常流に関する二、三の基本的な現象を取り上げ、それらに対する従来の理論的研究の範囲では十分に取り扱うことができない水理条件の領域に理論を拡張することを目的として、基礎的な検討を行ったものである．具体的には、まず、基底流が常流および射流状態である開水路流れに対して、その中を伝播するハイドログラフの変形過程に関する従来の理論解析法の適用範囲の拡張を行っている．さらに、ダム破壊流れに関して、浅水流方程式の慣性項と底面摩擦項を考慮しながら流れの全領域を同時に再現できる近似解を導出する方法を提案し、数値解析結果と比較することで検証している．</p> <p>第1章は序論であり、本研究課題を取り上げた動機と研究の目的、並びに論文の構成について記述している．</p> <p>第2章では、等流状態にある基底流が常流の場合について、その中を時間スケールの短いハイドログラフが伝播する現象を考えている．従来の洪水流理論では、洪水波伝播の基本特性を説明するために、運動方程式の慣性項を無視したキネマティック・ウェーブ理論を基本解として、それからの摂動を考えることで慣性項の影響を二次的に考慮する方法が適用されてきた．この近似理論は洪水波の波長が水深に比べて十分長く基底流のフルード数が小さい場合にのみ有効であるという適用限界が存在する．キネマティック・ウェーブ理論に運動方程式中の圧力項を追加して考慮した速水の拡散理論の場合も同様である．</p> <p>そこで本論文では、上述した緩慢な洪水流にのみ適用可能なキネマティック・ウェーブ解を基本解とせず、運動方程式中の慣性項を無視しない理論の構築を試みている．すなわち、ハイドログラフのフロントがダイナミック・ウェーブの速度で伝播することから、Lighthill・Whitham が波先の波形に対してのみ適用した時間に関するウェーブ・フロント展開法をハイドログラフ全体に適用することを検討した．この方法では、固定点においてハイドログラフをその波先を始点にした時間に関するべき乗展開式で表現し、それを浅水流方程式に代入することで各べき乗の係数に関する関係式を導く．その後、導かれた関係式の非線形項を無視することで線形解を導き、線形化方程式の数値解析結果と理論解を比較することで、ハイドログラフの振幅が小さい場合には三次まで考慮した理論解が数値解とよく一致することを示した．その後、二次までの項を考慮した非線形解を導出し、浅水流方程式に TVD-LAX-WENDROFF 法を適用して直接数値解析した結果と解析解を比較・検討した．本研究で導出した二次までの非線形解の範囲では数値解析結果に十分適合する結果を得ることができず、非線形効果を理論的に考察するためには三次以上の高次の解を考慮する必要性があることを指摘した．</p> <p>続く第3章では等流状態にある基底流が射流の場合について考察している．特に本論文では、射流条件の場合に河川の区間内一地点で観測された一つの水位ハイドログラフのみを用いて区間全域の洪水流を再現することの可能性について理論的に考察してい</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	WAI THWE AUNG
<p>る．このような逆解析の可能性を理論的に検証するために，基底流が射流状態の場合のフラッシュ洪水を想定した．まず，慣性項，底面摩擦と路床勾配項を考慮した基礎式の線形化方程式に対して，上流端での境界条件として水深と流速のハイドログラフをべき乗展開式で与え，十分下流域でのハイドログラフ伝播を表現する線形解を導出した．さらにその線形解の表示式を分析することで，一地点の水位ハイドログラフのみの表示式が与えられると境界条件として与えた二種類のハイドログラフを逆算できる可能性を示した．導出した線形解については，摂動線形系の基礎式の数値解析結果と比較することでその妥当性を検証している．</p> <p>第4章では，底面摩擦を考慮したダム破壊流れに関する浅水流方程式の理論解について考察している．底面摩擦を考慮したダム破壊流れの理論解として，フロント近傍の流れを運動方程式中の圧力項と底面せん断応力項が平衡すると仮定して得られる波形で表現し，それと Ritter の解を接続する方法が提案されている．しかし，負の波のフロント位置から水深ゼロのフロントの間のダム破壊流れを統一して取り扱った研究は存在していないため，本論文ではダム破壊流れを領域区分することなく慣性項，底面摩擦項を考慮して解析解を導出する方法を提案した．すなわち，底面摩擦を考慮した場合には底面摩擦項が負の波のフロント位置から先端まで連続的に影響を及ぼすため，初期の隔壁位置の水理量は時間的に変化し，初期隔壁位置は Ritter の解の場合のような特別な意味を持たない．そこで本論文では，時間的に移動する座標系からみれば時間が経過しても水理量に変化しない負の波のフロント位置を新たな原点として，そこから先端までの水面形を一つの分布形として表現することが自然と考え，移動座標系を用いて近似解を導出する解析法の枠組みを提案している．浅水流方程式を左に伝播する負の波で移動する座標系での基礎式に変換した後，相似解の存在を仮定せずに水深と流速を移動座標のべき乗級数として表現するとともに，べき乗の各項の係数を時間の関数と考えて基礎式に代入することで係数の時間変化を表す近似解を導出した．導かれた近似解と有限体積法に TVD-MUSCL 法を適用して得られた数値解析結果を比較することで，近似解の適合性と適用限界について考察するとともに，解の精度をより向上させるための方針を示した．</p> <p>第5章は結論であり，本論文で得られた成果について要約している．</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、開水路非定常流に関する二、三の基本的な現象を取り上げ、それらに対する従来の理論的研究の範囲では十分に取り扱うことができない水理条件の領域に理論を拡張することを目的として、基礎的な検討を行ったものである。

まず等流状態にある基底流が常流の場合について、その中を時間スケールの短いハイドログラフが伝播する過程を検討した。緩慢な洪水流にのみ適用可能なキネマティック・ウェーブ解を基本解とせず、運動方程式中の慣性項を無視しない理論の構築を試みている。ハイドログラフのフロントがダイナミック・ウェーブの速度で伝播することから、固定点でのハイドログラフをその波先を始点にした時間に関するべき乗展開式で表現し、それを浅水流方程式に代入することで各べき乗の係数に関する関係式を導いた。その後、関係式の線形解を導き、線形化方程式の数値解析結果と比較することでハイドログラフの振幅が小さい場合には理論解が数値解とよく一致することを検証した。さらに、二次までの項を考慮した非線形解を導出し、浅水流方程式に TVD-LAX-WENDROFF 法を適用して直接数値解析した結果と解析解を比較・検討することで、非線形効果を理論的に考察するためには三次以上の高次の解を考慮する必要性があることを指摘した。

次に、等流状態にある基底流が射流の場合について考察した。特に本論文では、射流条件の場合に河川の区間内一地点で観測された一つの水位ハイドログラフのみを用いて区間全域の洪水流を再現できるかどうかを理論的に検討した。このような逆解析の可能性を検証するために、まず、慣性項、底面摩擦項と路床勾配項を考慮した基礎式の線形化方程式に対して、上流端での境界条件としてハイドログラフをべき乗展開式で与え、十分下流域でのハイドログラフ伝播を考察できる線形解を導出した。さらにその線形解の表示式を分析することで、一地点の水位ハイドログラフのみの表示式が与えられると境界条件として与えた二種類のハイドログラフを逆算できる可能性を示した。導出した線形解については、摂動線形系の基礎式の数値解析結果と比較することでその妥当性を検証している。

最後に、底面摩擦を考慮したダム破壊流れに関する浅水流方程式の解析解を新たに導出している。まず浅水流方程式を上流方向に伝播する負の波で移動する座標系での基礎式に変換した。その後、相似解の存在を仮定せずに水深と流速の空間分布を移動座標のべき乗級数として表現するとともに、べき乗の各項の係数を時間の関数と考えて基礎式に代入することで係数の表示式を導出した。導かれた近似解と数値解析結果を比較することで、近似解の適合性と適用限界およびさらなる高精度化の方針について示した。

要するに本論文は、開水路非定常流に関する二、三の基本的な現象を取り上げ、理論的に取り扱える範囲の拡張について研究するとともに実用的な応用について検討したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年 8 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降